

УДК 526.6.04

І.В. КОВАЛЕНКО

DOI: 10.20998/2078-9130.2021.2.243596

ШЛЯХИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДЕТАЛЕЙ ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ БАНДАЖУВАННЯ

При розвитку сучасних умов кораблебудування та виконання ремонту судових агрегатів, особливу роль приділяють використанню основних елементів конструкцій які складаються із технологічних частин. При виконанні цих кроків важливо виконати аналіз властивостей матеріалів з яких виготовляються технологічні складові вузлів судового обладнання. Проведення випробувань повинне бути наближене до умов експлуатації судових вісей та валів, а саме – циклічного навантаження, агресивного та адгезійного середовища. Тому особливим фактором є технологічний контроль за послідовністю виготовлення, підбором матеріалів, технології наплавки. Усі названі вимоги можливо проаналізувати та спрогнозувати за допомогою комп'ютерного моделювання. Дослідження властивостей перехідних шарів шва і основного металу і їх вплив на кількість циклів навантаження при випробуваннях також являються ключовими. Усі умови будуть виконані при оптимальному підборі хімічної складової Ni – Cr, які забезпечують необхідний рівень легування. Твердість матеріалів забезпечується наявністю частки Mg у складі металу. Також важливим є режими термообробки які забезпечують отримання необхідної кінцевої структури матеріалу для механічної обробки та наплавки. Для данної деталі та її елементів, найкращі властивості з точки зору експлуатації у дрібнодисперсній аустенитній і перлитній структур. При експлуатації судових валів та вісей виконується розповсюдження прокольних навантажень за рахунок виникнення остаточних напруг при малоциклових та багатоциклових навантаженнях та подальшої втоми структурної решітці. При розгляді номенклатури матеріалів, використаних у комбінованих конструкціях дуже велика і включає більшість зварюваних сталей. По поєднанню матеріалів в одному вузлі доцільно виділити дві основні групи конструкцій: із зварними з'єднаннями сталей одного структурного класу, але різного легування, та із зварними з'єднаннями сталей різних структурних класів. У зв'язку з цим рішення по отриманню збалансованого бандажного з'єднання лежить в отриманні мілко зернистої структури металу шва та наволошовної зони.

Ключові слова: бандаж, напруження матеріалу, суднове обладнання, перехідний шар, структура металу, судовий насос.

При развитии современных условий кораблестроения и ремонта судовых агрегатов, особую роль уделяют использованию основных элементов конструкций состоящих из технологических частей. При выполнении этих шагов важно выполнить анализ свойств материалов из которых производятся технологические составляющие узлов судового оборудования. Проведение испытаний должно быть приближено к условиям эксплуатации судовых осей и валов, а именно циклической нагрузки, агрессивной и адгезионной среды. Поэтому особым фактором является технологический контроль за последовательностью изготовления, подбором материалов, технологией наплавки. Все эти требования можно проанализировать и спрогнозировать с помощью компьютерного моделирования. Исследования свойств переходных слоев шва и основного металла и их влияние на количество циклов нагрузки при испытаниях также являются ключевыми. Все условия будут выполнены при оптимальном подборе химической составляющей Ni – Cr, обеспечивающей необходимый уровень легирования. Твердость материалов обеспечивается наличием частицы Mg в составе металла. Также важны режимы термообработки которые обеспечивают получение необходимой конечной структуры материала для механической обработки и наплавки. Для данной детали и ее элементов наилучшие свойства с точки зрения эксплуатации у мелкодисперсной аустенитной и перлитной структур. При эксплуатации судовых валов и осей производится распространение прокольных нагрузок за счет возникновения окончательных напряжений при малоцикловых и многоцикловых нагрузках и последующей усталости структурной решетке. При рассмотрении номенклатуры материалов, используемых в комбинированных конструкциях, очень велика и включает большинство свариваемых сталей. По сочетанию материалов в одном узле целесообразно выделить две основные группы конструкций: со сварными соединениями сталей одного структурного класса, но разного легирования и со сварными соединениями сталей различных структурных классов. В этой связи решение по получению сбалансированного бандажного соединения лежит в получении мелкозернистой структуры металла шва и околошовной зоны.

Ключевые слова: бандаж, напряжение материала, судовое оборудование, переходный слой, структура металла, судовой насос.

In the development of modern shipbuilding conditions and the repair of ship units, a special role is given to the use of basic structural elements consisting of technological parts. When performing these steps, it is important to analyze the properties of the materials from which the technological components of ship equipment are made. Testing should be close to the operating conditions of ship axles and shafts, namely cyclic loading, aggressive and adhesive environment. Therefore,

a special factor is the technological control over the sequence of manufacture, selection of materials, surfacing technology. All these requirements can be analyzed and predicted using computer modulation. Investigations of the properties of the transition layers of the weld and the base metal and their effect on the number of load cycles in the tests are also key. All conditions will be met with the optimal selection of the chemical component Ni - Cr, which provide the required level of doping. The hardness of the materials is ensured by the presence of Mg in the metal. Also important are the heat treatment modes that provide the desired final structure of the material for machining and surfacing. For this part and its elements, the best properties in terms of operation in fine austenitic and pearlitic structures. During the operation of ship shafts and axles, the propagation of puncture loads is performed due to the occurrence of final stresses at low-cycle and multi-cycle loads and subsequent fatigue of the structural lattice. When considering the range of materials used in combined structures is very large and includes most welded steels. According to the combination of materials in one unit, it is advisable to distinguish two main groups of structures: with welded joints of steels of the same structural class, but different alloying, and with welded joints of steels of different structural classes. In this regard, the decision to obtain a balanced bandage connection lies in obtaining a fine-grained structure of the weld metal and the seam area.

Keywords: bandage, material stress, ship equipment, transition layer, metal structure, ship pump.

Постановка проблеми.

При широкому спектрі даних про технологічне забезпечення необхідно виконати обґрунтування застосування технології бандажування як методу підвищення службових характеристик і технологічності виготовлення деталей та обладнання суднових енергетичних установок. Дуже важливо надати оцінку факторів, що впливають на ефективність і надійність фіксації бандажа на осі в процесі експлуатації виробу, та проаналізувати способи виготовлення бандажованих виробів.

У зв'язку з інтенсифікацією виробництва, з появою суднових механізмів та енергетичних систем великої маси і ваги виникає необхідність у виготовленні складових елементів даного обладнання. Складові елементи, по-перше, дозволяють збільшити масогабаритні показники обладнання. По-друге, виникає питання про можливість забезпечення регламентованого розподілу властивостей між елементами - віссю і бандажем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широке застосування в промисловості знайшла технологія бандажування [1]. Однією з областей застосування складеного інструменту є суднове обладнання. У зв'язку з тенденцією збільшення ширини валів та вісей потрібно застосування необхідних початкових деталей з довжиною 3 - 5 метрів і масою до 25 тонн. Виготовити якісні валок чи вісь суднового обладнання такої маси з одного зливка практично неможливо. Тому очевидно виробництво таких виробів в складеному варіанті, коли вісь та бандаж виготовляються із злитків меншого розважування, а отже, більш якісних [2].

Складові вироби з регламентованими параметрами посадки можуть бути широко використані при виготовленні запобіжних пристроїв для важко навантажених суднових вузлів і механізмів, що запобігають поломкам агрегатів при перевищенні експлуатаційних навантажень і в аварійних ситуаціях [3].

Застосування литих бандажів з заевтектійних марок сталей і кованих вісей веде до підвищення стійкості прокатних валків в три рази в порівнянні з цільнокованими валками [4].

Експлуатація бандажованих вісей додатково дозволяє багаторазово використовувати вісь,

змінюючи зношені бандажі. В цьому випадку в балансі витрати металу бере участь в основному тільки матеріал бандажу [5].

Застосування зварювальних технологій при виготовленні бандажованого суднового обладнання дозволить різко знизити трудомісткість формування складених механічних елементів, значно зменшити енергетичні витрати, підвищити надійність фіксації бандажа на вісі [6]. У зв'язку з цим вдосконалення технології виготовлення складових суднових деталей є актуальною науковою задачею. Наведена інформація вимагає додаткового аналізу та дослідження.

Постановка завдання

-обґрунтувати розробку технології виготовлення складових суднових вузлів, заснованої на виникненні зварювальних напруг і деформацій при впливі локального джерела тепла, наприклад, зварювальної дуги;

-розробити технологічні варіанти бандажування, направлених на підвищення надійності та забезпечення регламентованих умов фіксації .

Виклад основного матеріалу дослідження

Номенклатура виробів суднового обладнання має широкий спектр. Найбільше розповсюдження отримали вироби з механічним з'єднанням або термічним з'єднанням за рахунок натягу.

Основними методами фіксації бандажа на вісі є:

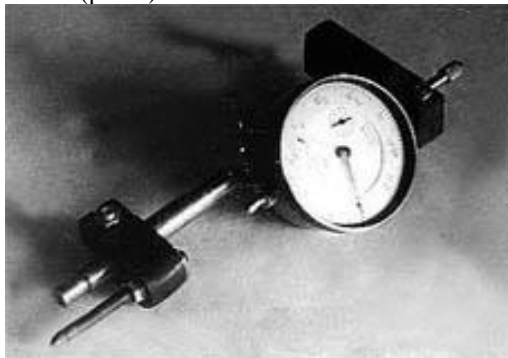
- механічні, замкові з'єднання;
- адгезійні з'єднання гальванічні покриття ;
- термічні з гарантованим натягом

Особливо важливо провести оцінку ефективності та надійності фіксації бандажа на осі. В процесі експлуатації можливе зниження надійності кріплення за рахунок впливу різних чинників: різна жорсткість сполучених деталей; вплив згинаючих навантажень і крутного моменту; наявність вологи і окислення і, як наслідок, корозія [7].

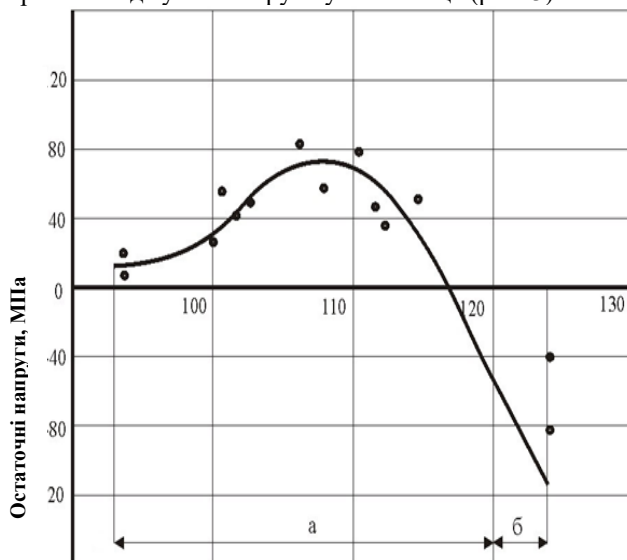
Механічні методи фіксації не завжди можливі. В основному вони можуть бути застосовані для деталей, в яких необхідна часта зміна бандажа, наприклад, для прокатних валків сортопрокатних станів. А для деталей, що працюють в умовах великих навантажень, найчастіше застосовуються саме нероз'ємні види з'єднань за рахунок термічної фіксації бандажа на осі, тобто з гарантованим натягом [8].

Посадка бандажа на вісь із забезпеченням гарантованого натягу також пов'язана з рядом складнощів [9]. Тому необхідно забезпечити високу точність виготовлення сполучених елементів. По-друге, необхідно забезпечити постійну величину натягу по всій довжині за рахунок виконання рівномірного нагріву і подальшого рівномірного охолодження деталей. Відхилення величини натягу від регламентованого рівня може призвести або до сповзання бандажа з осі, або до його руйнування. Також, для забезпечення нагріву великотоннажних виробів необхідні великі енергетичні витрати, які виникають при виготовленні циліндричних виробів, дослідження деформацій і напружень, що виникають в циліндричних виробах при впливі локальним джерелом нагрівання [10].

Для вимірювання залишкових напружень і деформацій проведені дослідження на моделях у вигляді кілець у вільному стані, а також посаджених на вісь з натягом (рис. 1).



розповсюджують напруги у тілі кільця (рис. 3).



Довжина від центру кільця до точки виміру, R, мм

а - товщина кільця; б - товщина наплавленого металу.

Наявність стискаючих напруг призводить до виникнення деформацій і усадки. Використовуючи ефект усадки, а також деякі конструктивні елементи

Рис. 1. Індикатор для вимірювання усадки наплавлених зразків.

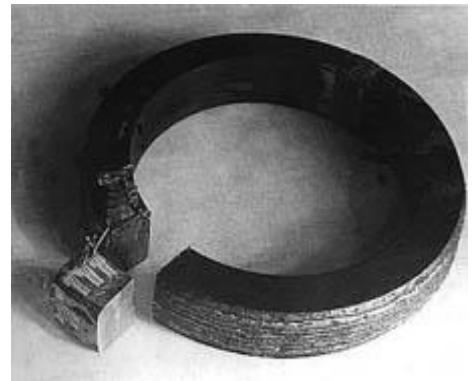


Рис. 2. Наплавлене кільце суднового відцентрового насосу з тензодатчиками після вирізки.

Визначення залишкових деформацій і напружень виконувалося наступним чином. Виконувался ряд експериментів та проводилися вимірювання характеру зміни внутрішнього діаметра за допомогою індикатора (рис.1), а залишкових напруг із застосуванням методу тензометрування (рис.2) [11]. Результати вимірювань тангенціальних залишкових зварювальних напружень у кільці показали, що в наплавленому шарі сформувалися стискаючі залишкові напруги, які врівноважено

поверхні бандажа і вісі можна надійно закріпити бандаж на поверхні вісі.

Для вимірювання величини залишкових напруг за допомогою тензометричних перетворювачів і наступної цифрової обробки сигналу розроблений модуль інтерфейсу, принципова схема якого наведена на рис.4.

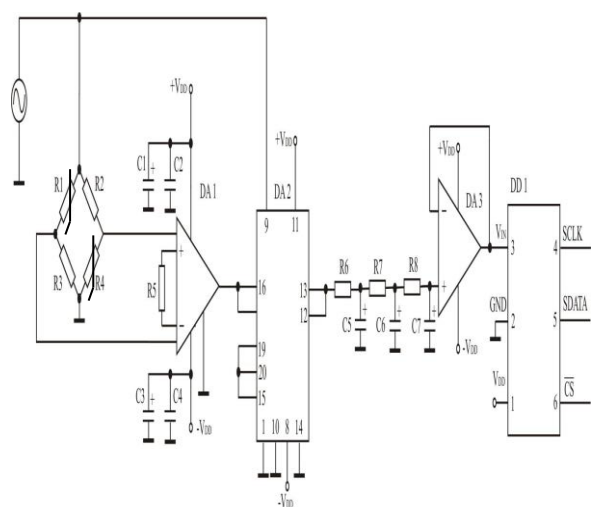


Рис.4. Принципова схема модуля інтерфейсу.

У основі дії даного пристрою лежить принцип мікросхематичного керування. Сигнал з

тензометричного моста R1 - R4 подається на диференційний вхід інструментального підсилювача DA1. Після обробки здійснюється демодуляція мікросхемою DA2 з подальшою фільтрацією низькочастотним фільтром R6C5, R7C6, R8C7. Далі сигнал через повторювач DA3 надходить на вхід послідовного 12-ти розрядного аналого-цифрового перетворювача DD1.

З виходу SDATA DD1 отриманий цифровий код передається в мікропроцесорний модуль по стандартному послідовному інтерфейсу RS232 (рис.5) для подальшого аналізу і обробки із застосуванням математичного моделювання.

Така схема вимірювання деформацій та напружень, дозволяє отримати вихідні данні із дуже високим рівнем точності, яка на декілько рівней вища ніж дані отримані від тензодатчиків спротиву [12].

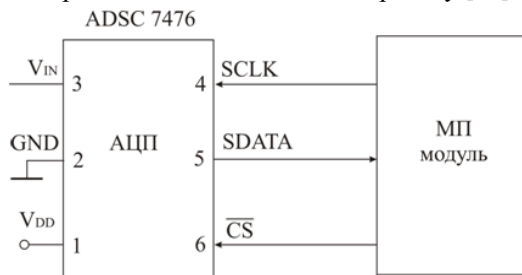


Рис. 5. Схема підключення модуля інтерфейсу.

У рамках виконуваних досліджень для оцінки надійності бандажованих деталей суднових механічних установок в умовах реальних робочих навантажень розроблена методика із застосуванням модернізованої випробувальної установки на контактну витривалість рис.6.

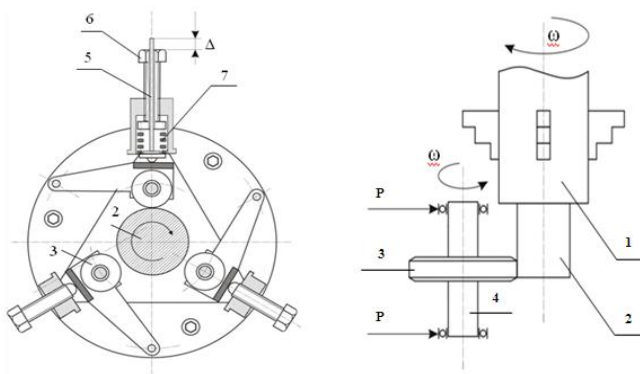


Рис.6. Схема випробувальної установки
1 - патрон; 2 - випробуваний зразок; 3 - натискний ролик; 4 - вісь ролика; 5 - штифт; 6 - гвинт навантаження; 7 – пружина.

Випробування виконувались таким чином, що в процесі обертання робочого вала двигуна натяжний ролик 3 (рис.6) натискає із зусиллям P на консольну частину зразка 2, завдяки чому останній відчуває згибаючи навантаження, що імітують роботу реального зразка [13]. Швидкість обертання двигуна

складає 2820 об/хв. Загальна кількість циклів навантаження 11106 одиниць[14].

Для чисельного моделювання напружено-деформованого стану деталей складових конструкцій, при впливі локального джерела нагріву рис.7 розроблена методика із застосуванням багатофункціональної системи кінцево-елементних розрахунків ANSYS, яка складається з декількох етапів: розробка геометричної моделі деталі, вибір типу вузлів, побудова кінцево-елементної схеми і підготовка вихідних даних [15]; виконання розрахунку; обробка результатів розрахунку.

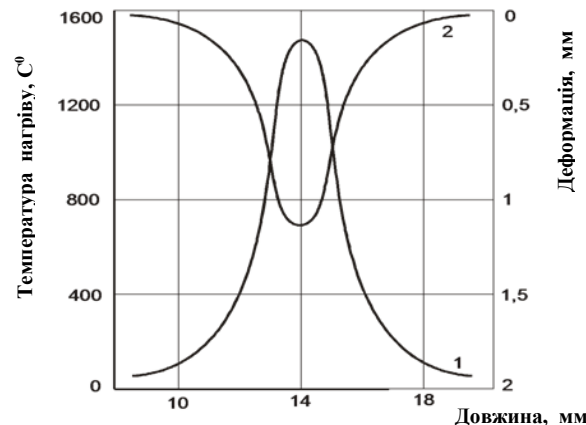


Рис.7 Графік розподілу температур та деформацій

Отримання результатів вимірювань є наступним кроком та буде відображено у наступній статті, воно відбувається після кожного блоку циклів навантаження на спеціалізований електронний блок.

Отримані результати дозволяють отримати масив числових значень які дозволяють розвину пропонуваній підхід до прогнозування подальшого стану деталей виготовляємих методом бандажування у наступних статтях.

Висновки

1. У ході дослідження виконали обґрунтування розробки технології виготовлення складових суднових вузлів, у основі технології знаходиться метод зварювання із застосуванням інверторного цифрового контролю впливу дуги на проплавлення основного металу.

2. На базі аналізу розробленої технології виготовлення виробів, складовою частиною у котрій є виникнення зварювальних напруг та деформацій при впливі локального джерела нагріву, стає необхідним окреме дослідження напружено – деформованого стану виробу, яке є окремим напрямком для подальших робіт .

3. Вдосконалена конструкція випробувальної установки, та за рахунок цього вдалося визначитися з тривалістю руйнування зразка у інтервалі 10000-15000 циклів.

Список літератури

1. V.V. Chigarev, A.G. Belik. Flux-cored strips for surfacing. Welding International. V. 26, p. 975-979

- (2012).
2. А.А. Фока. Судовой механик. 2010, Одесса, Феникс, Т.1. 1030 с.
 3. I. Kovalenko, V. Spiridonov. Operation reliability evolution of the ship power pipelines with application of mathematical modeling and ultrasonic testing methods. The scientific heritage. V.6, p.88-91. (2016).
 4. V.V. Chigarev, A.G. Belik, D.A. Zarechenskii. Optimization of the fractional composition and performance melting powder tapes with exothermic mixture in the filler. Welding International. V.30, №7, p. 557-559 (2016).
 5. В.В. Чигарев, И.В. Коваленко. Способ увеличения срока службы металлургического оборудования. Вестник ПГТУ. № 20, с. 231 (2010).
 6. В.В.Чигарев, И.В. Коваленко. Исследование эксплуатационных свойств биметаллических сварных соединений. Вестник ПГТУ. № 22, с. 161 (2011).
 7. Ю.Н. Готальский. Сварные соединения разнородных сталей. 1981 М., Техника, 185с.
 8. Б.Е Патон, А.Д.Чепурной, В.Я.Саенко, и др. Перспективы производства толстостенных биметаллических корпусов высокого давления. Автомат. сварка. №1, с. 30 (2004).
 9. В.И. Махненко. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. 2006, Киев: Наукова думка. 618с.
 10. Mohammad Essa Ahmad W.W.Chigarev, A.G.Belik. Application of flux-cored strips for ruggedization and reconditioning of machine parts. Modern Developments in Renewable Energy and Sustainability. Kuala Lumpur, Malaysia. p. 110 (2008).
 11. Ю.П. Стафаков, И.Л. Побаль, А.Г. Князева. Рост трещин вблизи границы раздела разнородных материалов в условиях сжатия. Физ. мезомеханика. №1. с.81. (2002).
 12. В.М. Харин. Судовые машинные установки устройства и системы. 2010, Одесса. Феникс. 2010. 648 с.
 13. E. Muller. Geschweisste Turbinenlaufer. BBC. Nachr. Shweissenund Schneiden. V.47, №6, с. 277 (1995).
 14. I.B. Kovalenko, M.O. Kovalchuk, Yu.V. Landikov Дослідження малоциклової втоми матеріалу кріплення головного двигуна судна. Технологія машинобудування №4. с 5-11 (2019).
 15. Firas M.F. Influence of main characteristic features of spot welding on welded connection joint strength / Firas Al Quran, M.I. Matarneh, A.G. Belik // Journal of engineering physics and thermophysics. – 2014. – Vol.87, No.2. – P. 384-387.
- evolution of the ship power pipelines with application of mathematical modeling and ultrasonic testing methods. Hungary, Budapesht, The scientific heritage. V.6, p.88-91. (2016).
4. V.V. Chigarev, A.G. Belik, D.A. Zarechenskii. Optimization of the fractional composition and performance melting powder tapes with exothermic mixture in the filler. Russia, Moscow. Welding International. V.30, no. 7, p. 557-559 (2016).
 5. V.V. Chigarev, I. V. Kovalenko. Spособ uvelycheniy sroka slughby metalurgicheskogo oborudovaniya. [Method of increasing the service life of metallurgical equipment]. Ukraine, Mariupol, Bulletin of PSTU. No. 20, p. 231 (2010).
 6. V.V. Chigarev, I.V. Kovalenko. Issledovanie rabochih svoystv bimetalicheskikh svarnich soedineniy. [Study of the performance properties of bimetallic welded joints]. Ukraine, Mariupol, Bulletin of PSTU. No. 22, p. 161 (2011).
 7. Yu.N. Gotalsky. Svarnie soedineniya raznorodnich staleiy. [Welded joints of dissimilar steels]. 1981 М., Technics, 185 p.
 8. Б.Е. Патон, А.Д. Чепурной, В.Я. Саенко. Perspektiviy proizvodstva tolstostenich corpusov viysokogo davleniya [Prospects for the production of thick-walled bimetallic high-pressure housings]. Machine. welding. No. 1, p. 30 (2004).
 9. V.I. Makhnenko. Resurs bezopasnoi pfbotiy svarnich soedinenii i uzlov sovremennich konstrukcii. [Resource for safe operation of welded joints and assemblies of modern structures]. 2006, Kiev: Naukova Dumka. 618s.
 10. Mohammad Essa Ahmad W. W. Chigarev, A. G. Belik. Application of flux-cored strips for ruggedization and reconditioning of machine parts. Modern Developments in Renewable Energy and Sustainability. Kuala Lumpur, Malaysia. R. 110 (2008).
 11. Yu.P. Stafakov, I.L. Pobal, A.G. Knyazeva. Rost treshin vblizi granic razdela raznich materialov v usloviyach sghatiya [Growth of cracks near the interface of dissimilar materials under compression]. Phys. mesomechanics. no.1. p.81. (2002).
 12. V.M. Kharin. Sudovie mashiniy ustroystva i sistemiy [Marine machinery installations devices and systems]. 2010, Odessa. Fenix. 2010. 648 p.
 13. E. Muller. Geschweisste Turbinenlaufer. BBC. Nachr. Shweissenund Schneiden. V.47, no. 6, p. 277 (1995).
 14. I.B. Kovalenko, M.O. Kovalchuk, Yu.V. Landikov Investigation of low-cycle fatigue of the mounting material of the ship's main engine. Mechanical engineering technology №4. from 5-11 (2019).
 15. Firas M.F. Influence of main characteristic features of spot welding on welded connection joint strength / Firas Al Quran, M.I. Matarneh, A.G. Belik // Journal of engineering physics and thermophysics. – 2014. – Vol.87, No.2. – P. 384-387.

References:

1. V.V. Chigarev, A.G. Belik. Flux-cored strips for surfacing. Welding International. V. 26, p. 975-979 (2012).
2. А.А. Фока. Судовой механик. [Marine mechanic]. 2010, Odessa, Phoenix, Vol. 1. 1030 s.
3. I. Kovalenko, V. Spiridonov. Operation reliability

Надійшла 01.11. 2021р.

Відомості про авторів / Сведения об авторах/ About the Authors

Коваленко Іван Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Експлуатація суднових енергетичних установок», Азовський морський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна. E-mail: ivankovalenko165@gmail.com Контактний телефон: 067 940 24 68

ORCID 0000-0002-6988-655

Коваленко Иван Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация судовых энергетических установок», Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия» г. Мариуполь, Украина. E-mail: ivankovalenko165@gmail.com Контактный телефон: 067 940 24 68

ORCID 0000-0002-6988-6554

Kovalenko Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department "Operation of ship power plants" Azov Maritime Institute of the National University of Odessa Maritime Academy Mariupol Ukraine.

E-mail: ivankovalenko165@gmail.com Contact phone: 067 940 24 68

ORCID 0000-0002-6988-6554